

METRO INSHOOTLARIDA AN'ANAVIY MATERIALLARNING EKSPLUATATSION KAMCHILIKLARI VA KOMPOZITSION MATERIALLARNI QO'LLASHNING AFZALLIKLARI

A'zamov Nodirbek Faxriddin o'g'li
Toshkent davlat transport universiteti
1-bosqich tayanch doktoranti

Annotatsiya: Mazkur maqolada metro inshootlarida keng qo'llaniladigan an'anaviy qurilish materiallarining (og'ir beton, temirbeton, po'lat konstruksiyalar) ekspluatatsion kamchiliklari tahlil qilinadi. Shuningdek, zamonaviy kompozitsion materiallar - polimer-kompozit armaturalar, tolali betonlar, FRP (Fiber Reinforced Polymer) tizimlari va boshqa innovatsion yechimlarning konstruktiv, iqtisodiy hamda texnik afzalliklari ilmiy asosda yoritiladi. Metro inshootlarining uzoq muddatli chidamliligi, korroziyaga bardoshliligi va seysmik xavfsizligini oshirishda kompozitsion materiallarning roli ko'rsatib beriladi.

Kalit so'zlar: temirbeton, korroziya, karbonatlashuv, FRP, polimer kompozit, tolali beton, seysmik bardoshlilik, ekspluatatsion ishonchlilik.

Аннотация: В данной статье анализируются эксплуатационные недостатки традиционных строительных материалов (тяжелый бетон, железобетон, стальные конструкции), широко используемых в сооружениях метрополитена. Также на научной основе освещаются конструктивные, экономические и технические преимущества современных композиционных материалов - полимерно-композитной арматуры, фибробетонов, систем FRP (Fiber Reinforced Polymer) и других инновационных решений. Показана роль композиционных материалов в повышении долговечности, коррозионной стойкости и сейсмической безопасности сооружений метрополитена.

Ключевые слова: Железобетон, коррозия, карбонизация, FRP, полимерный композит, фибробетон, сейсмостойкость, эксплуатационная надежность.

Kirish. Metro infratuzilmasi xususan, murakkab geotexnik sharoitdagi tunnellar, massiv estakadalar, monolit tayanch ustunlari va ko'p funktsiyali bekat majmualari - o'ta intensiv va o'zgaruvchan ekspluatatsion muhitda faoliyat yurituvchi strategik ob'ektlar hisoblanadi. Toshkent metropoliteni tarmog'ining jadal rivojlanishi, yangi yer osti va balandlikka ko'tarilgan (estakada turi) liniyalarning kengayishi, qo'llaniladigan qurilish materiallarining fizik-mexanik xususiyatlariga va korroziyaga bardoshlilikiga qo'yiladigan me'yoriy talablarni keskin oshirmoqda.

Inshootlar doimiy ravishda yer osti suvlarining gidrostatik bosimi, yuqori namlik darajasi, karbonizatsiya jarayonlari va agressiv kimyoviy muhit ta'sirida bo'ladi. Buning ustiga, poyezdlar harakatidan kelib chiqadigan yuqori chastotali dinamik vibratsiyalar va mintaqaning 9 balli seysmik faolligi an'anaviy temir-beton konstruksiyalarning strukturaviy yaxlitligini va uzoq muddatli xizmat ko'rsatish samaradorligini sezilarli darajada pasaytirishi mumkin.

Shu sababli, an'anaviy po'lat va betonning ekspluatatsion kamchiliklarini bartaraf etish maqsadida, yuqori solishtirma mustahkamlikka ega bo'lgan zamonaviy kompozitsion materiallarni (FRP, polimer-kompozitlar) va dispersli armaturalangan tizimlarni qo'llash metro infratuzilmasining ishonchlilikini ta'minlashdagi eng istiqbolli va innovatsion yo'nalish sifatida baholanmoqda.

An'anaviy materiallarning ekspluatatsion kamchiliklari.

Temir-beton konstruksiyalarning tizimli va ekspluatatsion kamchiliklari tahlili. Metro infratuzilmasida qo'llaniladigan an'anaviy temir-beton elementlar uzoq muddatli intensiv ekspluatatsiya sharoitida quyidagi destruktiv (yemiruvchi) jarayonlarga moyilligi bilan tavsiflanadi:

Elektrokimyoviy korroziya va passiv qatlamning yemirilishi: Namlik, xloridlar va atmosfera karbonat angidrid gazining (CO_2) beton g'ovaklari orqali diffuziyasi natijasida betonning ishqoriy muhiti (pH ko'rsatkichi) pasayadi (karbonizatsiya). Natijada po'lat armatura atrofidagi himoya qatlami buzilib, elektrokimyoviy korroziya jarayoni boshlanadi. Zanglagan po'lat hajmining 2-4 marta

kengayishi betonning ichki zo'riqishini oshiradi va himoya qatlaminig qatlamlanib ko'chishiga sabab bo'ladi.

Dinamik charchoq va mikroyoriqlarning rivojlanishi: Poyezdlar harakatidan kelib chiqadigan takroriy siklik yuklamalar va tebranishlar materialda charchash hodisasini yuzaga keltiradi. Ushbu jarayon beton strukturasi va armatura tutashgan hududlarda (adageziya zonasida) mikro-yoriqlar tarmog'ini hosil qiladi. Harorat gradiyenti (termik kengayish) ta'sirida ushbu yoriqlar makro-shaklni olib, inshootning gidroizolyatsion yaxlitligini buzadi.

Yuqori xususiy og'irlik va inersion kuchlar: Temir-betonning yuqori zichligi (2500 kg/m^3 gacha) konstruksiyaning o'z og'irligidan kelib chiqadigan doimiy yuklamani oshiradi. Seysmik faol zonalarda bu massivlik inertsion kuchlarning ortishiga va poydevor tizimlariga (svayalar va rostverklarga) tushadigan statik hamda dinamik bosimning keskin yuksalishiga sabab bo'ladi.

Ekspluatatsion servis va restavratsiya murakkabligi: Yer osti tunnellari va estakada konstruksiyalarining o'ziga xos lokatsiyasi ularni ta'mirlashda cheklangan texnik imkoniyatlarni yaratadi. Po'lat armaturaning korroziyasini to'xtatish yoki beton strukturasi sanatsiya qilish uchun talab etiladigan texnologik uzilishlar nafaqat yuqori iqtisodiy xarajatlarga, balki transport tizimining funksional barqarorligi buzilishiga olib keladi.

Po'lat konstruksiyalarning tizimli cheklovlari va ekspluatatsion muammolari tahlili. Metro inshootlarida qo'llaniladigan po'lat elementlar (tayanch qismlari, ferma va bog'lovchi konstruksiyalar) yuqori mexanik mustahkamlikka ega bo'lishiga qaramay, uzoq muddatli ekspluatatsiya davrida quyidagi kritik texnik kamchiliklarni namoyon etadi:

Elektrokimyoviy va atmosfera korroziyasiga yuqori moyillik: Metro tunnellari va yer usti estakadalarida namlik hamda adashgan toklarning yuqori konsentratsiyasi po'latda destruktiv korroziya jarayonlarini tezlashtiradi. Bu jarayon metallning samarali kesim yuzasini kamaytirib, konstruksiyaning umumiy yuk ko'tarish qobiliyatini prognoz qilib bo'lmaydigan darajada pasaytiradi.

Termik barqarorlikning pastligi va yuqori haroratdagi deformatsiyalar: Po‘latning mexanik xususiyatlari haroratga o‘ta sezuvchan bo‘lib, kritik harorat ko‘rsatkichlarida (masalan, 500-6000C dan yuqori yong‘in holatlarida) uning oquvchanlik chegarasi va elastiklik moduli keskin pasayadi. Bu esa konstruksiyaning geometrik barqarorligini yo‘qotishiga va kutilmagan strukturaviy inqirozlarga olib keladi.

Resurs talab qiluvchi texnik xizmat ko‘rsatish va monitoring: Po‘lat inshootlar o‘zining hayotiylik davri davomida doimiy instrumental nazorat va restavratsiyani talab etadi. Ayniqsa, dinamik yuklamalar ostida ishlovchi birikmalarda (payvand choklari va bolti tutashmalarida) charchash yoriqlari paydo bo‘lishi muntazam defektoskopiya tekshiruvlarini o‘tkazishni shart qilib qo‘yadi.

Antikorrozion himoya qatlamlarining degradatsiyasi: Po‘lat sirtiga beriladigan polimer yoki ruxli himoya qoplamalari atmosfera omillari, ultrabinafsha nurlar va mexanik ishqalanishlar ta’sirida o‘zining adgeziion xususiyatlarini yo‘qotadi. Himoya qatlamining “eskirishi” yoki lokal shikastlanishi natijasida hosil bo‘lgan piting korroziyasi metall ichiga chuqur kirib borib, nuqtali yemirilishlarni hosil qiladi.

Agressiv muhit ta’siri. Metro infratuzilmasi elementlarining ekspluatatsion barqarorligi ularning tashqi muhit bilan o‘zaro ta’siriga, xususan, kimyoviy va fizik yemirilish jarayonlariga bevosita bog‘liq:

Xloridli va sulfatli agressiya (Kimyoviy korroziya): Yer osti suvlarining beton kapillyarlari orqali diffuziyasi natijasida xlorid ionlari po‘lat armatura yuzasidagi himoya qatlamini parchalab, lokal korroziyani keltirib chiqaradi. Sulfat birikmalari esa sement toshining tarkibiy qismlari bilan reaksiyaga kirishib, beton ichida etringit kabi kengayuvchi minerallarni hosil qiladi. Bu jarayon betonning ichki hajmiy kengayishiga, kuchli zo‘riqishlarga va konstruksiyaning butunlay qatlamlanib yemirilishiga sabab bo‘ladi.

Namlik va diffuzion jarayonlar: Metro tunnellaridagi yuqori nisbiy namlik (80-90%) beton strukturasiining doimiy to‘yingan holatda bo‘lishini ta’minlaydi. Bu esa elektrokimyoviy korroziya uchun qulay elektrolit muhitini yaratadi

hamda betonning gidroizolyatsion xususiyatlarini zaiflashtirib, uning dinamik yuklamalarga bo'lgan qarshiligini pasaytiradi.

Kriogen destruksiya (Muzlash-erish sikllari): Yer usti estakadalari va ochiq liniyalarda betonning g'ovaklari ichidagi erkin suv manfiy haroratda muzlab, o'z hajmini taxminan 9% ga kengaytiradi. Hosil bo'lgan gidravlik va muz kristallizatsiyasi bosimi betonning mustahkamlik chegarasidan oshib ketadi. Ko'p marotaba takrorlanuvchi muzlash va erish sikllari (frost resistance - F markasi) betonning strukturasini mikro-darajada parchalab, uning yuzasidan boshlab ichkariga tomon destruksiyaga uchrashiga olib keladi.

Kapillyar so'rilish va karbonizatsiya: Yer usti inshootlarining atmosfera omillari bilan bevosita aloqasi karbonat angidrid (CO_2) gazining beton qatlamiga kirib borishini tezlashtiradi. Bu jarayon betonning ishqoriy muhitini neytrallab, armaturani passiv holatdan faol korroziya holatiga o'tkazadi.

Metro infratuzilmasida innovatsion kompozitsion materiallar va ularning strukturaviy tahlili. An'anaviy materiallarning ekspluatatsion cheklovlarini bartaraf etish maqsadida metro inshootlarida qo'llaniladigan ko'p komponentli kompozitsion tizimlar o'zining yuqori solishtirma mustahkamligi va tajovuzkor muhitlarga inertligi bilan ajralib turadi:

FRP (Fiber Reinforced Polymer) armaturalari: Polimer matritsa (smola) va yuqori pishiqlikka ega tolalar (shisha, bazalt yoki uglerod) birikmasidan tashkil topgan anizotropik materiallardir.

Shisha va bazalt tolali (GFRP/BFRP): Mutlaq korroziyaga chidamliligi va dielektrik xususiyati bilan ajralib turadi, bu esa metro liniyalarida adashgan toklarning salbiy ta'sirini nolga tushiradi.

Uglerod tolali (CFRP): O'ta yuqori elastiklik moduli va dinamik charchoqqa chidamliligi bilan tavsiflanadi, bu esa estakadalarning o'ta yuqori zo'riqishli tugunlarini kuchaytirishda qo'llaniladi.

Dispersli armaturalangan tolali beton (Fibrabeton): Beton matritsasiga po'lat, polipropilen yoki bazalt tolalarini (fibra) kiritish orqali hosil qilingan

kvazi-izotropik materialdir. Fibra elementlari betonning mikrotuzilmasida yoriqlar rivojlanishiga to'sqinlik qiluvchi "ko'priklar" (bridging effect) vazifasini bajaradi. Bu betonning zarbiy qovushqoqligini va cho'zilishdagi mustahkamligini bir necha barobar oshirib, poyezdlarning vibratsion yuklamalariga chidamliligini ta'minlaydi.

Polimer-beton (Mineral quyma): Sement va suv o'rnini termoset polimerlari (epoksid yoki poliefir smolalari) egallagan yuqori zichlikdagi kompozit. Ushbu material suv o'tkazuvchanligining deyarli yo'qligi (W20+) va o'ta yuqori siqilish mustahkamligi bilan ajralib turadi. Metro bekatlarining platforma chekkalari va drenaj tizimlari kabi abraziv va kimyoviy ta'sir kuchli bo'lgan nuqtalarda qo'llaniladi.

Kompozit panel va qoplama tizimlari (FRP Laminates): Tunnellarning ichki qismini sanatsiya qilish va estakadalarni seysmik kuchaytirishda qo'llaniladigan yuqori texnologik qatlamlar. Tashqi armaturalash usuli (External Bonding Systems) orqali inshootning umumiy massasini oshirmasdan, uning egilish va qirqilishga bo'lgan qarshiligini 40 - 60 % ga oshirish imkonini beradi.

Kompozitsion materiallarni qo'llashning afzalliklari

Korroziyaga chidamlilik. FRP (Fiber Reinforced Polymer) armaturalari o'zining kimyoviy tarkibiga ko'ra dielektrik va metall bo'lmagan kompozit hisoblanadi, bu esa ularning an'anaviy po'lat armaturadan tubdan farq qiluvchi quyidagi ilmiy-texnik afzalliklarini belgilaydi:

Elektrokimyoviy korroziyaning mutlaq yo'qligi: Po'latdan farqli o'laroq, FRP armaturalari oksidlanish reaksiyalariga kirishmaydi. Metro tunnellarining o'ta nam muhitida va xloridlar (yer osti suvlari tarkibidagi tuzlar) konsentratsiyasi yuqori bo'lgan sharoitda ham kompozit armatura o'zining strukturaviy yaxlitligini saqlab qoladi. Bu jarayon betonning ishqoriy muhiti (pH darajasi) pasaygan (karbonizatsiyalangan) holatlarda ham inshootning yuk ko'tarish qobiliyati o'zgarmasligini kafolatlaydi.

Adashgan toklarga nisbatan inertlik: Metropoliten elektrlashtirilgan transport tizimi bo'lgani sababli, relslardan sizib chiquvchi adashgan toklar temir-beton konstruksiyalaridagi po'lat karkasning elektrokimyoviy yemirilishini o'n

barobargacha tezlashtiradi. FRP armaturalari yuqori dielektrik xususiyatga ega bo'lgani uchun ushbu toklarni o'tkazmaydi, bu esa tunnellar tubidagi poydevor va yo'l poydevori konstruksiyalarining barqarorligini ta'minlaydi.

Inshootning hayotiylik davrini uzaytirish: An'anaviy temir-beton inshootlarda korroziya tufayli har 20-25 yilda kapital ta'mirlash talab etilsa, FRP armaturasi qo'llanilgan ob'ektlarning xizmat muddati 80-100 yilga yetadi. Bu hayotiylik davri qiymati tahlili bo'yicha iqtisodiy samaradorlikni oshiradi, chunki ekspluatatsiya davridagi ta'mirlash xarajatlari 60 - 70 % ga qisqaradi.

Beton himoya qatlamiga qo'yiladigan talablarning optimallasuvi: FRP zanglamagani sababli, armatura ustidagi beton himoya qatlamining qalinligini minimal darajagacha kamaytirish imkoniyati tug'iladi. Bu esa o'z navbatida konstruksiyaning umumiy massasini kamaytirishga va tunnelning foydali kesim yuzasidan samaraliroq foydalanishga xizmat qiladi.

Yengillik va yuqori mustahkamlik. Kompozitsion materiallar, xususan polimer-kompozitlar, o'zining solishtirma massasi va mexanik pishiqligi o'rtasidagi optimal nisbati bilan an'anaviy qurilish materiallaridan tubdan farq qiladi. Bu xususiyat metro infratuzilmasini loyihalash va qurishda quyidagi fundamental muhandislik afzalliklarini ta'minlaydi:

Solishtirma mustahkamlikning yuqoriligi: Shisha-tolali polimer (GFRP) armaturalarning zichligi o'rtacha 1900 - 2100 kg/m³ ni tashkil etadi, bu po'latdan (7850 kg/m³) deyarli 4 barobar yengil ekanligini anglatadi. Shu bilan birga, ularning cho'zilishdagi mustahkamlik chegarasi (1000 - 1200 MPa) po'latning mos ko'rsatkichidan (500 MPa) 2 barobar yuqori. Ushbu fizik ko'rsatkichlar inshootning yuk ko'taruvchi qismlarida "foydali mustahkamlik" koeffitsiyentini keskin oshiradi.

Statik yuklamalarning optimallasuvi: Konstruksiyaning xususiy og'irligi kamayishi natijasida poydevor va tayanch ustunlariga tushadigan vertikal bosim minimal darajaga tushadi. Bu, ayniqsa, Toshkent metrosining yer usti estakadalarida murakkab grunt sharoitida poydevor svayalari sonini qisqartirish yoki ularning kesim yuzasini optimallashtirish imkonini beradi.

Seysmik inersion kuchlarning kamayishi: Seysmik ta'sir kuchi ob'ektning massasiga to'g'ridan-to'g'ri mutanosibdir ($F=ma$). Kompozit materiallar qo'llanilishi natijasida inshoot umumiy massasining kamayishi zilzila paytida yuzaga keladigan inersion yuklamalarning kamayishiga va konstruksiyaning dinamik barqarorligi ortishiga olib keladi.

Logistika va montaj texnologiyasining samaradorligi: Materialning yengilligi yuk ko'tarish quvvati bir xil bo'lgan transport vositalarida an'anaviy materiallarga nisbatan 4 barobar ko'p mahsulot tashish imkonini beradi, bu esa yoqilg'i va logistika xarajatlarini keskin qisqartiradi. Montaj jarayonida og'ir yuk ko'tarish kranlariga bo'lgan ehtiyoj kamayadi va qo'l mehnatidan samaraliroq foydalanish imkoniyati tug'iladi. Bu tunnel ichidagi cheklangan fazoda armatura karkaslarini o'rnatish tezligini 25-30% ga oshiradi.

Seysmik bardoshlilik. Seysmik faolligi yuqori bo'lgan hududlarda (9 balli zonalar) metro inshootlarining xavfsizligi ularning dinamik yuklamalarni qabul qilish va energiyani so'ndirish qobiliyatiga bog'liq. Kompozitsion materiallar an'anaviy betonning fundamental kamchiligi bo'lgan mo'rt buzilish muammosini quyidagi mexanizmlar orqali hal etadi:

Duktillik koeffitsiyentining ortishi va plastik deformatsiyalar: Kompozitsion materiallar, xususan, fibrabeton va FRP bilan kuchaytirilgan tizimlar, konstruksiyaga yuqori duktillik xususiyatini baxsh etadi. Seysmik zarba paytida elementlar kutilmaganda parchalanib ketmasdan, katta hajmdagi plastik deformatsiyalarni qabul qilish qobiliyatiga ega bo'ladi. Bu esa inshootning yuk ko'tarish qobiliyatini saqlagan holda, seysmik energiyani xavfsiz tarqatishini ta'minlaydi.

Gisterezisli energiya dissipatsiyasi (yutilishi): Kompozitsion tizimlar seysmik tebranishlar davrida gisterezis halqalari bo'ylab katta miqdordagi energiyani yutadi. Polimer matritsa va tolalar orasidagi mikro-ishqalanishlar hamda tolalarning uzilishga qarshiligi seysmik kinetik energiyani issiqlik energiyasiga aylantirib, inshootning umumiy dinamik reaksiyasini pasaytiradi.

“Ko‘prik” effekti: Dispersli armaturalangan betonlarda (fibrabeton) tolalarning tartibsiz taqsimlanishi mikro-yoriqlar uchlarida kuchlanishlar konsentratsiyasini kamaytiradi. Seysmik kuch ta’sirida yoriq ochila boshlaganda, fibra tolalari “ko‘prik” vazifasini bajarib, yoriqning kengayishini to‘xtatadi va beton massivining yaxlitligini saqlab qoladi. Bu mexanizm konstruksiyaning zarbiy qovushqoqligini keskin oshiradi.

Konstruktiv tugunlarning seysmik ishonchliligi: Kompozit qoplamalar bilan o‘ralgan tayanch ustunlari hajmiy siqilish holatiga o‘tadi. Bu usul betonning siqilishdagi mustahkamligini va deformatsiyalanuvchanligini oshirib, tayanchlarning seysmik tebranishlar ostida kesilish tufayli buzilishini bartaraf etadi.

Yoriqlanishni kamaytirish. Metro estakadalari poyezdlar harakatidan kelib chiqadigan yuqori chastotali tebranishlar va siklik yuklamalar ta’sirida bo‘lishini hisobga olgan holda, fibrabeton (dispersli armaturalangan beton) an’anaviy betonga nisbatan quyidagi ilmiy-texnik ustunliklarni ta’minlaydi:

Yoriqlarni jilovlash mexanizmi: Beton matritsasida yuzaga keladigan mikroyoriqlar cho‘zilish zo‘riqlashlari ta’sirida makroyoriqlarga aylanishga moyil bo‘ladi. Beton tarkibidagi polimer, bazalt yoki po‘lat tolalar (fibralar) yoriq tekisliklari orasida mikro-ko‘prik vazifasini bajaradi. Bu jarayon yoriq uchidagi kuchlanishlar intensivligi koeffitsiyentini (KI) pasaytiradi va yoriqning keyingi autogen tarqalishini to‘xtatib, materialning strukturaviy yaxlitligini saqlaydi.

Dinamik qovushqoqlik va energiya dissipatsiyasi: Metro estakadalari rels birikmalaridagi zarbalar natijasida kelib chiqadigan dinamik impulslarni qabul qiladi. Fibrabeton o‘zining yuqori zarbiy qovushqoqligi bilan ajralib turadi. Tolalar va beton matritsasi orasidagi adgeziion bog‘lanish dinamik energiyani yutadi va uni material bo‘ylab dissipatsiya qiladi (so‘ndiradi), bu esa konstruksiyaning rezonans hodisalariga bardoshlilikini oshiradi.

Siklik chidamlilik va charchash chegarasining ortishi: Doimiy takrorlanuvchi yuklamalar ta’sirida an’anaviy beton strukturasi vaqt o‘tishi bilan charchaydi va mustahkamligini yo‘qotadi. Tolali armaturalash betonning charchash chegarasini 25-

40 % ga oshiradi, bu esa metro estakadalarining kapital ta'mirlash oralig'idagi xizmat muddatini sezilarli darajada uzaytiradi.

Kvazi-plastik deformatsiyalanish: An'anaviy beton mo'rt material bo'lsa, fibrabeton zo'riqish ostida kvazi-plastik xulq-atvorni namoyon etadi. Ya'ni, maksimal yuklama cho'qqisidan keyin ham material birdaniga parchalanib ketmasdan, qoldiq mustahkamligini saqlab qoladi. Bu xususiyat favqulodda yuklamalar (seysmik zarba yoki avariya holatlari) paytida konstruksiyaning kutilmagan qulashidan himoya qiladi.

Ekspluatatsion xarajatlarning kamayishi. Metro infratuzilmasi kabi uzoq muddatli strategik ob'ektlar uchun material tanlashda faqatgina dastlabki qurilish xarajatlari emas, balki butun hayotiylik davri davomidagi ekspluatatsion sarf-xarajatlar hal qiluvchi ahamiyatga ega. Kompozitsion materiallar (FRP, fibrabeton) ushbu tahlil bo'yicha quyidagi afzalliklarni ta'minlaydi:

Texnik xizmat ko'rsatish intensivligining minimallasuvi. An'anaviy temir-beton inshootlar har 15-20 yilda armatura korroziyasini to'xtatish, yoriqlarni injeksiya qilish va gidroizolyatsiyani tiklash kabi murakkab sanatsiya ishlarini talab etadi. Kompozit materiallar kimyoviy jihatdan inert bo'lgani uchun ekspluatatsiya davridagi profilaktik va tiklash ishlariga bo'lgan ehtiyojni 70 - 80 % ga qisqartiradi. Materialshunoslik sohasidagi tezlashtirilgan degradatsiya sinovlari shuni ko'rsatadiki, polimer-kompozitlar agressiv muhitda (sulfatli va xloridli suvlar) o'zining mexanik xususiyatlarini 80-100 yil davomida saqlab qoladi. Bu ko'rsatkich an'anaviy materiallardan 2-3 barobar yuqori bo'lib, inshootni qayta qurish yoki demontaj qilish muddatini sezilarli darajada uzaytiradi. Po'lat konstruksiyalar va an'anaviy armaturalar muntazam ravishda antikorrozion qoplamalar, katod himoyasi yoki maxsus kimyoviy ingibitorlarni talab etadi. Kompozitsion materiallar o'z-o'zidan korroziyaga bardoshli bo'lgani sababli, qo'shimcha himoya qatlamlari va ularni yangilab turish xarajatlarini butunlay yo'qqa chiqaradi. Dastlabki bosqichda kompozit materiallar an'anaviy materiallardan biroz qimmatroq bo'lishi mumkin. Biroq, 30-50 yillik ekspluatatsiya davri uchun hisoblangan sof joriy qiymat tahlili shuni ko'rsatadiki, ta'mirlash xarajatlarining yo'qligi va xizmat muddatining uzunligi

hisobiga kompozit yechimlar umumiy iqtisodiy tejashni ta'minlaydi. Shuningdek, ta'mirlash paytidagi transport uzilishlaridan kelib chiqadigan ijtimoiy-iqtisodiy yo'qotishlarning oldi olinadi.

Iqtisodiy va ekologik jihatlar. Kompozitsion materiallarni metro infratuzilmasiga tatbiq etishning iqtisodiy va ekologik jihatlarini quyidagi ilmiy-texnik asoslarga ega. Investitsion xarajatlar garchi kompozitsion materiallarning (FRP, fibrabeton) boshlang'ich kapital xarajatlari (CAPEX) an'anaviy materiallarga nisbatan 15-25 % ga yuqori bo'lsa-da, inshootning hayotiylik davri qiymati tahlili teskari natijani ko'rsatadi. Korroziyaga qarshi profilaktika, qimmatbaho gidroizolyatsiya qatlamlari va rejali sanatsiya ishlariga bo'lgan ehtiyojning minimallasishi hisobiga, ekspluatatsiya bosqichidagi xarajatlar (OPEX) keskin kamayadi. Natijada, loyihaning o'zini oqlash muddati qisqarib, uzoq muddatli istiqbolda sof iqtisodiy tejamkorlik 30 % dan yuqori ko'rsatkichni tashkil etadi.

Xulosa o'rnida ta'kidlash lozimki, metro inshootlarining uzoq muddatli barqarorligi ko'p omilli tizim bo'lib, unda an'anaviy materiallarning xususan, temir-beton va po'latning - fizik-kimyoviy degradatsiyasi (korroziya, karbonizatsiya, charchash yoriqlari) hamda yuqori xususiy og'irligi tizimli cheklovlarni yuzaga keltirmoqda. Ushbu omillar nafaqat inshoot xavfsizligiga tahdid soladi, balki ekspluatatsiya davridagi iqtisodiy yuklamani (rekonstruksiya va monitoring xarajatlarini) eksponensial ravishda oshiradi.

Zamonaviy kompozitsion materiallar (FRP armaturalar, fibrabeton, polimer-kompozitlar) o'zining yuqori solishtirma mustahkamligi, mutlaq kimyoviy inertligi va dielektrik xususiyatlari bilan ushbu muammolarga kompleks yechim bo'la oladi:

Strukturaviy ishonchlilik: Materialning yengilligi seysmik inersion yuklamalarni kamaytiradi, duktillik xususiyati esa mo'rt buzilishlarning oldini oladi.

Ekspluatatsion samaradorlik: Korroziyaga qarshi passiv himoya tizimlariga ehtiyoj qolmaydi, bu esa inshootning hayotiylik davrini 100 yilgacha uzaytiradi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

Shaumarov S.S., Adilova Sh.A. Metro inshootlarini ekspluatatsiya qilishda monitoring va diagnostika tizimlarini takomillashtirish // Transport: fan va texnika. – Toshkent, 2021. - №3. – B. 12-18.

Raupov Ch.S. Binolar va inshootlarning seysmik chidamliligi: Nazariya va hisob-kitob metodlari. – Toshkent: Fan, 2018.

Karimov A.A., Axmedov M.A. Yuqori mustahkamlikka ega B40 betonlarining fizik-mexanik xususiyatlarini tadqiq etish // Qurilish va me'morchilik muammolari. – Samarqand, 2022. - №2. – B. 45-50.

Asatov N.U. Temir-beton konstruksiyalarining seysmik mustahkamligi va dinamikasi: O'quv qo'llanma. – Toshkent: Tafakkur, 2020. – 186 b.

Neville A.M. Properties of Concrete. 5th Edition. – London: Pearson Education Limited, 2011. – 846 p. (Beton xossalari bo'yicha fundamental asar).

Aitcin P.C. High-Performance Concrete. – London: E & FN Spon, 1998. (Yuqori mustahkamlikdagi betonlar texnologiyasi).

Winkler J., et al. Digital Twins for Structural Health Monitoring of Bridges // Journal of Civil Structural Health Monitoring. – 2023. – Vol. 13. – P. 105-122.

Wang X. Seismic Response of Elevated Metro Viaducts under Dynamic Loads // Engineering Structures Journal. – 2020. – No. 215.